



Bergische Universität Wuppertal  
Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik  
Sicherheitstechnik / Abwehrender Brandschutz  
Roland Goertz (Hrsg.)



Wuppertaler  
Feuerwehrwissenschaftliche Berichte

Markus Hauser

# **Analyse der Wechselwirkungen von vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzmaßnahmen am Beispiel Baden-Württemberg**

Tragkonstruktion – Brandabschnitte – Rettungswege

**SHAKER  
VERLAG**



**BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL**

# **Analyse der Wechselwirkungen von vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzmaßnahmen am Beispiel Baden-Württemberg**

**Tragkonstruktion – Brandabschnitte – Rettungswege**

Eine von der Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik  
der Bergischen Universität Wuppertal angenommene

## **Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades  
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt von  
**Dipl.-Ing. Markus S. Hauser**  
aus Villingen

Wuppertal 2017

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dipl.-Chem. Dr. rer. nat. Roland Goertz  
2. Gutachter: Prof. Dr. Armin Seyfried

Tag der mündlichen Prüfung: 15. März 2018

Wuppertaler Feuerwehrwissenschaftliche Berichte

**Markus Hauser**

**Analyse der Wechselwirkungen von vorbeugenden  
und abwehrenden Brandschutzmaßnahmen  
am Beispiel Baden-Württemberg**

Tragkonstruktion – Brandabschnitte – Rettungswege

Shaker Verlag  
Aachen 2018

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Wuppertal, Univ., Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5935-9

ISSN 2366-388X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen  
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9  
Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Chem. Dr. rer. nat. Roland Goertz, der mir die Bearbeitung des Themas im Rahmen einer Promotion ermöglichte und mir immer fachlich und freundschaftlich zur Seite stand.

Bei Herrn Prof. Dr. Armin Seyfried möchte ich mich für die Erstellung des Zweitgutachtens und die damit verbundenen Mühen herzlich bedanken. Ebenso möchte ich Frau Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Anke Kahl für den Vorsitz der Prüfungskommission und Herrn apl. Prof. Dr. rer. pol. Ralf Pieper für die Mitwirkung als Beisitzer danken.

Den Verantwortlichen des Baurechtsamts, des Polizeipräsidiums und der Branddirektion Stuttgart gebührt für die unkomplizierte Zusammenarbeit ebenso mein Dank, wie den Mitgliedern des Arbeitskreises Feuerwehrgeschichte des Stadtfeuerwehrverbands Stuttgart e.V. und meinen Kolleginnen und Kollegen für die anregenden Diskussionen.

Ganz besonders möchte ich meinen Eltern danken, die mich in meiner schulischen und beruflichen Laufbahn stets gefördert und unterstützt haben.

Nicht zuletzt danke ich meiner Frau Claudia für ihre Ermutigungen und ihre Nachsicht in der nicht immer ganz einfachen Zeit. Ihr Rückhalt hat diese Arbeit überhaupt erst ermöglicht.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>V</b>
<b>Formelzeichen</b> .....	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>X</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>XII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>XV</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit .....	2
1.2 These und methodische Vorgehensweise .....	3
1.3 Stand der Forschung .....	4
<b>2. Historische Entwicklung des Brandschutzes</b> .....	<b>7</b>
2.1 Der Weg zur baden-württembergischen Landesbauordnung .....	8
2.2 Schutzziele des vorbeugenden Brandschutzes .....	11
2.2.1 Analyse der Schutzzielreihenfolge .....	12
2.2.2 Begriff des Schadenfeuers .....	15
2.2.3 Aktuelle Änderungen .....	16
2.2.4 Schutzziele in Baden-Württemberg .....	17
2.2.5 Zusammenfassung .....	18
2.3 Gebäudeklassifikation .....	19
2.3.1 Anzahl der Vollgeschosse .....	20
2.3.2 Gebäude geringer Höhe .....	22
2.3.3 Gebäudeklassen .....	26
2.4 Feuerwiderstand von Bauteilen .....	30
2.5 Tragkonstruktion .....	34
2.6 Brandabschnitt .....	40
2.6.1 Äußerer Brandabschnitt .....	41



2.6.2 Innerer Brandabschnitt.....	44
2.6.3 Brandabschnittsfläche.....	46
2.7 Rettungswege .....	48
2.7.1 Rettungsweglänge.....	50
2.7.2 Rettungsfenster .....	51
<b>3. Modelle zur Beschreibung von Raumbränden.....</b>	<b>55</b>
3.1 Analytische Verfahren .....	55
3.1.1 Wärmefreisetzungsrate .....	55
3.1.1.1 Brandentwicklungsphase.....	57
3.1.1.2 Flashover und Übergangsbereich .....	58
3.1.1.3 Vollbrandphase.....	59
3.1.1.4 Abklingphase.....	60
3.1.2 Feuerplume .....	61
3.1.2.1 Flammenhöhe .....	61
3.1.2.2 Idealer Plume.....	63
3.1.2.3 Zukoski-Plume .....	64
3.1.2.4 Hekstad-Plume .....	64
3.1.2.5 McCaffrey-Plume.....	65
3.1.2.6 Thomas-Plume .....	66
3.1.2.7 Fenster-Plume.....	67
3.1.3 Ceiling Jet .....	67
3.1.4 Rauchgastemperatur.....	68
3.1.4.1 Prä-Flashover .....	69
3.1.4.2 Post-Flashover.....	70
3.1.5 Rauchschiechthöhe .....	70
3.2 Numerische Verfahren .....	72
3.2.1 Erhaltungsgleichungen.....	73
3.2.2 Fire Dynamics Simulator .....	74
<b>4. Rekonstruktion realer Brandereignisse .....</b>	<b>78</b>
4.1 Fallbeispiel 1: Brand im Erdgeschoss eines Mehrfamilienhauses .....	78
4.1.1 Ausgewählte Brandschutzanforderungen .....	78
4.1.1.1 Allgemeine Angaben.....	78

4.1.1.2 Tragkonstruktion .....	80
4.1.1.3 Brandabschnitte .....	81
4.1.1.4 Rettungswege .....	82
4.1.2 Brand- und Einsatzverlauf .....	83
4.1.3 Analytische Brandrekonstruktion .....	85
4.1.3.1 Zündung und frühe Ausbreitungsphase .....	85
4.1.3.2 Wärmefreisetzungsrate .....	88
4.1.3.3 Rauchgastemperatur .....	89
4.1.3.4 Rauchschichthöhe .....	90
4.1.4 Numerische Brandrekonstruktion .....	91
4.1.4.1 Simulierte Brandausbreitung .....	91
4.1.4.2 Definierte Brandausbreitung .....	93
4.1.5 Parameterstudie .....	100
4.1.5.1 Wärmefreisetzungsrate .....	101
4.1.5.2 Rauchgastemperatur .....	104
4.2 Fallbeispiel 2: Brand im Erdgeschoss eines Mehrfamilienhauses .....	106
4.2.1 Ausgewählte Brandschutzanforderungen .....	106
4.2.1.1 Allgemeine Angaben .....	106
4.2.1.2 Tragkonstruktion .....	108
4.2.1.3 Brandabschnitte .....	109
4.2.1.4 Rettungswege .....	109
4.2.2 Brand- und Einsatzverlauf .....	110
4.2.3 Analytische Brandrekonstruktion .....	111
4.2.3.1 Wärmefreisetzungsrate .....	111
4.2.3.2 Flammenhöhen .....	114
4.2.3.3 Plumetemperaturen .....	114
4.2.3.4 Rauchgastemperatur .....	115
4.2.3.5 Rauchschichthöhe .....	116
4.2.4 Numerische Brandrekonstruktion .....	117
4.2.4.1 Geometrie und Diskretisierung .....	117
4.2.4.2 Brandquellen .....	118
4.2.4.3 Ventilationsbedingungen .....	120
4.2.4.4 Simulationsergebnisse .....	121
4.2.5 Parameterstudie .....	126

---

4.3 Zusammenfassung.....	128
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>129</b>
5.1 Schlussfolgerungen aus den bisherigen Ergebnissen.....	129
5.2 Brandschutzphilosophien im europäischen Vergleich.....	131
5.2.1 Tragkonstruktion.....	132
5.2.1.1 England.....	132
5.2.1.2 Schweiz.....	133
5.2.2 Innere Brandabschnittsbildung.....	135
5.2.2.1 England.....	135
5.2.2.2 Schweiz.....	136
5.2.3 Rettungswege.....	137
5.2.3.1 England.....	137
5.2.3.2 Schweiz.....	138
5.3 Einfluss der Feuerwehr.....	139
5.3.1 Allgemeine Bemessungsgrundlage deutscher Feuerwehren.....	139
5.3.2 Rettungskonzept.....	140
5.3.3 Innere Brandabschnittsbildung.....	143
5.3.4 Tragkonstruktion.....	144
5.4 Kritische Bewertung der Ergebnisse.....	145
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>147</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>150</b>